



**CLASSIFICATION DE LA
NEUTRALITÉ MAGNÉTIQUE DU
BOIS DE STRUCTURE :
CLASSIFICATION DE PURETÉ PAR
GRADES N POUR LES MATÉRIAUX
DE SUPPORT AUDIO, AVEC
CARACTÉRISATION DES TRACES
PARAMAGNÉTIQUES DU TECK
ÉQUATORIAL**



Classification de la neutralité magnétique du bois de structure : classification de pureté par grades N pour les matériaux de support audio, avec caractérisation des traces paramagnétiques du teck équatorial

A. Bosque, M. Ferro, H. Park, Y. Tanaka

Equatorial Audio Research Division, Mitad del Mundo, Quito, Ecuador (0.0000deg N)

Journal of Equatorial Audio Science, 2026.

Résumé

Les conducteurs audio sont couramment spécifiés selon des grades de pureté métallurgique -- 4N (99,99 %), 6N (99,9999 %) et au-delà -- alors que les matériaux de structure qui soutiennent, surélèvent et terminent ces conducteurs ne sont spécifiés, lorsqu'ils le sont, que par leur apparence. Cette asymétrie est injustifiable : un matériau de support en contact permanent avec un câble de signal participe à l'environnement électromagnétique de champ proche du câble ; ses propriétés magnétiques et diélectriques constituent donc des paramètres mesurables de l'installation, et non des éléments décoratifs. Nous proposons pour le bois de structure une classification de pureté par grades N, analogue à l'échelle N des métaux mais définie selon la grandeur pertinente pour un non-conducteur : la teneur paramagnétique résiduelle. Le grade d'un bois est fixé par sa susceptibilité magnétique volumique et, de manière équivalente, par la fraction massique cumulée des principaux contaminants paramagnétiques, le fer et le manganèse, déterminée par spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif après digestion acide par micro-ondes. Nous caractérisons 11 essences candidates et démontrons que la plupart des feuillus d'ameublement -- en particulier le chêne blanc, avec 41 à 190 ppm de fer -- se situent sous la neutralité 4N, tandis que le teck de plantation (*Tectona grandis*) cultivé à moins de 5 deg de l'équateur géomagnétique atteint 5N (99,999 % de neutralité magnétique, $Fe + Mn \leq 10$ ppm) à la livraison et 6N par sélection de bille individuelle. Nous présentons l'instrumentation, les limites des grades, les conséquences diélectriques de l'orientation du fil et de la teneur en humidité, ainsi que la reclassification d'un bois neutre en « magnétiquement compromis » consécutive à l'application de toute finition catalysée par un métal.

1. INTRODUCTION

Le marché des conducteurs audiophiles est organisé autour de la pureté. Le cuivre exempt d'oxygène est vendu comme 4N (99,99 %), 5N, 6N et -- à la limite de ce que le raffinage électrolytique peut produire -- 7N. Chaque neuf supplémentaire est réputé éliminer un site de diffusion, une impureté de joint de grain, une inclusion paramagnétique. Que le bénéfice audible du dernier neuf survive à un test d'écoute contrôlé est une question distincte, traitée ailleurs dans cette revue ; le point essentiel est que l'industrie dispose d'un vocabulaire rigoureux, quantitatif et universellement compris pour la pureté d'un conducteur.

Elle ne dispose d'aucun vocabulaire équivalent pour le reste. Le câble est classé à sept neuf, puis posé sur un sol, fixé dans un mur ou appuyé sur un support de composition entièrement inconnue. Le support est choisi pour sa couleur. Telle est la place du bois dans un système audio : porteur sur le plan structurel, en contact physique permanent avec le conducteur de signal, et invisible sur le plan métrologique.

Nous jugeons cette situation indéfendable. Un matériau de support en contact avec un câble fait partie de son environnement diélectrique et magnétique immédiat. S'il contient des inclusions ferromagnétiques -- fragment de limaille de scie à ruban, agrafe cassée, fer extrait du sol par l'arbre et fixé dans son duramen -- il crée une discontinuité locale de perméabilité le long du parcours. S'il est hygroscopique et polaire, il crée une capacité répartie dépendante de l'humidité. Ce sont les mêmes grandeurs que le grade de pureté du conducteur cherche à maîtriser. Il est incohérent de spécifier l'un à six neuf et d'abandonner l'autre à l'ébéniste.

Cet article propose pour le bois de structure une classification par grades N, définie non selon la pureté chimique au sens global -- le bois est constitué pour moitié environ de carbone et ne sera jamais « bois à 99,999 % » dans un sens utile -- mais selon la seule propriété qui couple le bois à un chemin de signal audio : sa teneur paramagnétique résiduelle et la susceptibilité magnétique volumique qu'elle produit.

2. LE GRADE DE NEUTRALITÉ ET L'ÉCHELLE N

Le bois sec est diamagnétique. La cellulose, la lignine et l'eau liée présentent chacune une faible susceptibilité magnétique volumique négative, et un bois propre, exempt de contaminants, se situe près de $\chi_v = -6 \times 10^{-6}$ (SI, susceptibilité volumique sans dimension), ce qui correspond à une perméabilité relative μ_r de 0.999994 -- indiscernable de l'unité, et même très légèrement inférieure. Un bois parfaitement neutre n'est donc pas simplement non magnétique ; il est faiblement et reproductiblement diamagnétique, état correct et souhaitable pour un matériau appelé à séjourner dans un champ statique ou quasi statique sans le perturber.

Les écarts à cette ligne de base sont presque entièrement dus aux contaminants paramagnétiques de métaux de transition, parmi lesquels le fer domine et le manganèse arrive loin derrière. Un arbre est une pompe à minéraux : il prélève les ions métalliques dans l'eau du sol et les dépose, de manière inégale, dans ses tissus. La teneur en fer qui en résulte va de quelques parties par million dans un feuillu de plantation propre à plusieurs centaines de parties par million dans les essences dont la chimie tannique



chélate activement le fer. Chaque partie par million de fer ajoute un petit incrément positif à la susceptibilité, éloignant le bois de son plancher diamagnétique vers la neutralité magnétique -- et, pour les pires essences, au-delà.

Nous définissons donc le grade de neutralité du bois selon la fraction massique cumulée de fer et de manganèse et, de manière équivalente, selon l'écart mesuré de la susceptibilité volumique par rapport à la ligne de base diamagnétique :

- 4N (99,99 % neutre) : $Fe + Mn \leq 100$ ppm. Valeur typique d'un feuillu d'ameublement non sélectionné.
- 5N (99,999 % neutre) : $Fe + Mn \leq 10$ ppm ; susceptibilité résiduelle dans une plage de $\pm 1 \times 10^{-6}$ autour de la ligne de base diamagnétique. Spécification de livraison d'Equatorial Audio.
- 6N (99,9999 % neutre) : $Fe + Mn \leq 1$ ppm ; susceptibilité nette toujours diamagnétique dans l'incertitude de mesure. Accessible par sélection de bille individuelle.
- 7N : $Fe + Mn \leq 0.1$ ppm. Valeur relevée ici pour deux billes de teck sur 340 examinées. Ce n'est pas un grade de production.

Nous reconnaissons que ces pourcentages constituent un emprunt rhétorique à la convention des métaux plutôt qu'une fraction de composition globale ; « neutre à 99,999 % » désigne 10 ppm du contaminant pertinent, non 10 ppm de matière autre que le bois. Nous conservons cette notation parce que le lecteur raisonne déjà avec elle et parce que la grandeur sous-jacente -- les parties par million paramagnétiques -- se mesure exactement comme un raffineur de cuivre mesure les impuretés d'une cathode.

3. INSTRUMENTATION ET MÉTHODE

Le classement d'une bille exige trois mesures magnétiques et chimiques indépendantes -- recherche d'inclusions ferreuses, détermination de la susceptibilité globale et dosage des métaux à l'état de traces -- auxquelles s'ajoute une caractérisation diélectrique pour la modélisation de l'installation.

Recherche d'inclusions ferreuses. Chaque bille traverse un réseau de gradiomètres fluxgate (Bartington Grad-13, trois axes, résolution de 1 nT) sur un banc motorisé à 20 mm/s. Le gradiomètre détecte les inclusions ferromagnétiques discrètes -- clous, plombs, limaille de scie à ruban, contaminants ordinaires de tout bois passé par des machines industrielles -- jusqu'aux fragments submillimétriques à 30 mm de profondeur. Le bois de récupération échoue régulièrement à ce contrôle ; c'est la raison principale pour laquelle les Blocs d'Élévation Equatoriaux sont usinés dans du bois de plantation de première passe et jamais dans du bois récupéré, quel que soit le romantisme de sa provenance.

Susceptibilité globale. Une carotte de 12 mm est prélevée dans chaque bille acceptée et mesurée dans un magnétomètre à échantillon vibrant (Lake Shore 8600, sensibilité de 5×10^{-8} emu) à 300 K. Le VSM fournit la susceptibilité volumique nette, dont se déduit directement le critère magnétique du grade. Une carotte de teck propre donne une valeur négative ; une carotte de chêne donne fréquemment une valeur positive.

Dosage des métaux à l'état de traces. La carotte mesurée est ensuite broyée cryogéniquement, digérée par micro-ondes dans un mélange d'acides nitrique et fluorhydrique, puis analysée par spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif (ICP-MS) pour Fe, Mn, Ni, Co et Cr. Il s'agit du même protocole dendrochimique utilisé pour reconstituer l'historique de la pollution à partir des cernes, appliqué ici à une fin que ses concepteurs n'avaient, nous l'admettons, pas anticipée. La valeur $Fe + Mn$ fixe le critère chimique du grade ; les critères magnétique et chimique doivent concorder dans la bande du grade, faute de quoi la bille est rejetée pour incohérence interne -- signe habituel d'une inclusion non détectée par le gradiomètre.

Caractérisation diélectrique. Pour modéliser l'installation, nous mesurons la permittivité relative et la tangente de perte sur des éprouvettes usinées, à l'aide d'une cellule à plaques parallèles gardées et d'un analyseur d'impédance (Keysight E4990A), de 20 Hz à 10 MHz, dans le sens du fil et en travers, après conditionnement à 8, 12 et 16 % de teneur en humidité. Ces valeurs n'entrent pas dans le grade de neutralité -- un diélectrique n'est pas un contaminant magnétique -- mais elles régissent la capacité répartie que le support fini présente au câble et sont inscrites avec le grade sur le certificat de chaque unité.

4. RÉSULTATS : COMPARAISON DES ESSENCES

Onze essences ont été examinées à raison de $n = 20$ billes chacune. Les résultats se répartissent nettement en trois groupes.

Les échecs. Le chêne blanc (*Quercus alba*) a été le moins performant, avec 41 à 190 ppm de fer et une susceptibilité nette positive dans 14 billes sur 20. La cause est connue de quiconque a laissé un serre-joint en acier sur du chêne humide pendant une nuit : la forte teneur en tanins du chêne chélate le fer pour former du tannate de fer -- composé bleu-noir de l'encre ferro-gallique -- de sorte que le chêne concentre activement le contaminant même que ce grade pénalise. Le chêne est un bois magnifique et magnétiquement hostile. Le noyer et le merisier ont mieux résisté, mais se situaient encore en moyenne à 4N ou moins.

Les graminées et composites. Le bambou, souvent commercialisé comme un « bois » durable, est une graminée à forte charge de silice et à chimie nodale irrégulière ; sa susceptibilité était dominée par des inclusions minérales à l'échelle du grain et aucun grade stable n'a pu lui être attribué. Le panneau de fibres à densité moyenne (MDF) a échoué selon un tout autre axe : son liant urée-formaldéhyde est fortement polaire, ce qui lui confère une permittivité relative de 4 à 6 et une tangente de perte supérieure d'un ordre de grandeur à celle du bois massif, tandis que sa fabrication le rend vulnérable aux fines métalliques incluses. Le MDF



est disqualifié comme matériau de support pour des raisons diélectriques avant même que son grade magnétique soit envisagé.

Le résultat du teck. Le teck de plantation (*Tectona grandis*) cultivé à moins de 5 deg de l'équateur géomagnétique a donné 3 à 9 ppm Fe + Mn sur 20 billes, une susceptibilité diamagnétique nette dans chaque échantillon et un grade 5N à la livraison. Après sélection de billes individuelles par VSM et ICP-MS, 31 des 340 billes examinées satisfaisaient au 6N et deux au 7N. L'avantage du teck équatorial n'a rien de mystique : il pousse rapidement sur des sols de plantation gérés, lessivés et pauvres en fer ; il est récolté jeune, avant l'accumulation minérale profonde du duramen ; il est exempt de la chimie tanin-fer qui pénalise le chêne. Sa constante diélectrique de 2.1 à 12 % de teneur en humidité est la plus faible de toutes les essences testées et se rapproche de celle des mousses techniques employées dans les montages RF.

5. LE PROBLÈME DE LA FINITION

Le grade d'un bois est une propriété du bois, non de l'objet qu'il devient -- et la manière la plus courante de détruire un bon grade consiste à appliquer une finition.

Presque toutes les finitions à l'huile, au vernis et à la laque durcissent au moyen de siccatifs métalliques : sels de cobalt, de manganèse et de zirconium d'acide naphthénique ou 2-éthylhexanoïque, ajoutés à hauteur d'une fraction de pour cent pour catalyser la réticulation oxydative qui durcit le film. Le cobalt et le manganèse sont tous deux paramagnétiques, et une charge de siccatif d'à peine 0,05 % de métal dépose, par mètre carré de surface finie, une masse paramagnétique supérieure à celle contenue dans toute la bille 5N sous-jacente. Nous avons mesuré une éprouvette de teck 5N avant et après une seule couche d'une finition classique à l'huile de lin cuite : sa susceptibilité rapportée à la surface est passée de la ligne de base diamagnétique à une valeur nette positive, reclassant l'éprouvette de 5N à moins de 4N. Le bois n'avait pas changé. La finition avait remis le contaminant -- précisément à la surface, au contact direct du câble, c'est-à-dire au pire endroit possible.

C'est la base mesurée -- et non une préférence esthétique -- sur laquelle les Blocs d'Élévation Équatoriaux sont livrés bruts. Une finition annulerait, à la dernière étape et dans la zone la plus active magnétiquement, tout le processus de sélection qui a valu son grade à la bille. La patine gris argent que le teck brut acquiert avec le temps résulte de l'oxydation élémentaire de sa propre surface ; elle n'ajoute aucun métal paramagnétique et constitue un changement cosmétique sans événement magnétique.

6. ANISOTROPIE DU FIL ET CHEMIN DE CHARGE DIÉLECTRIQUE

Le bois est diélectriquement anisotrope. Sur nos éprouvettes de teck, la permittivité relative dans le sens du fil dépassait celle mesurée en travers de 22 à 28 % à 12 % de teneur en humidité, et la tangente de perte suivait le même axe. La cause physique réside dans la structure cellulaire tubulaire alignée et dans l'orientation des dipôles de l'eau liée le long de la fibre. Pour un matériau de support, cette anisotropie n'est pas une gêne à moyenner ; c'est une variable de conception.

Le câble repose dans un berceau usiné au sommet de chaque bloc, de sorte que le couplage capacitif dominant entre câble et support traverse la courte colonne verticale de bois située directement sous le berceau. En usinant chaque bloc bois de bout vertical -- cernes visibles sur la face supérieure, fibres verticales dans le chemin de charge -- nous orientons l'axe transversal de plus faible permittivité dans le plan horizontal où le champ du câble est le plus intense, et réservons l'axe longitudinal de plus forte permittivité à la direction verticale porteuse, où il ne cause aucun dommage électrique et apporte un avantage mécanique considérable. L'orientation bois de bout avait initialement été retenue pour sa rigidité en compression ; l'argument diélectrique est apparu ensuite à partir de ces mesures et confirme indépendamment ce choix.

La teneur en humidité régit l'ensemble. La permittivité et la tangente de perte augmentent toutes deux fortement avec l'eau liée ; c'est pourquoi chaque bille classée est séchée au four à l'origine jusqu'à 12 +/- 1 % et que le programme d'entretien impose un contrôle annuel de l'humidité. Un support passé par absorption de 12 à 18 % d'humidité a modifié sa contribution diélectrique davantage que ne le ferait n'importe quelle différence entre essences.

7. DISCUSSION ET CONCLUSION

L'échelle N proposée ici s'appuie délibérément sur une convention à laquelle le lecteur fait déjà confiance. Un audiophile prêt à payer le sixième neuf d'un conducteur en cuivre a déjà accepté le principe selon lequel la contamination paramagnétique résiduelle et les centres de diffusion, mesurés en parties par million, méritent d'être maîtrisés. Nous n'avons fait qu'appliquer ce principe, et la même catégorie de mesure, au matériau sur lequel repose le conducteur -- pour constater que l'habitude de l'industrie consistant à classer le métal à six neuf tout en le posant sur un feuillu non classé, chargé de fer et actif par ses tanins, constitue une asymétrie qui ne survit pas au simple fait d'être énoncée.

Le teck de plantation équatorial atteint la neutralité 5N à la livraison et 6N après sélection, pour des raisons entièrement prosaïques : conditions de croissance pauvres en fer, récolte jeune, absence de chimie tanin-fer, faible teneur en résine et ligne de base diamagnétique commune à tout bois propre. Ce n'est pas un matériau magique. C'est un matériau propre, mesuré, classé et laissé brut afin de le rester. Chaque Bloc d'Élévation Équatorial est livré avec le grade de sa bille, sa valeur Fe + Mn et sa susceptibilité mesurée imprimés sur le certificat. Nous invitons le lecteur à demander les chiffres équivalents à tout autre fabricant de supports



audio, puis à noter la réponse.

RÉFÉRENCES

- [1] James, W. L. (1975). Propriétés diélectriques du bois et des panneaux durs : variation avec la température, la fréquence, la teneur en humidité et l'orientation du fil. USDA Forest Service Research Paper FPL-245, Forest Products Laboratory, Madison.
- [2] Torgovnikov, G. I. (1993). Propriétés diélectriques du bois et des matériaux à base de bois. Springer-Verlag, Berlin.
- [3] Skaar, C. (1988). Relations entre le bois et l'eau. Springer Series in Wood Science, Springer-Verlag, Berlin.
- [4] Cutter, B. E., Guyette, R. P. (1993). Facteurs anatomiques, chimiques et écologiques affectant l'utilisation du bois en dendrochimie. Journal of Environmental Quality, 22(3), 611-619.
- [5] Bosque, A., Ferro, M., Park, H. (2026). Classification de la neutralité magnétique du bois de structure : instrumentation et limites des grades. Journal of Equatorial Audio Science, 7(2), 44-71.
- [6] Tanaka, Y., Park, H. (2022). Mesure de permittivité par plaques parallèles gardées de solides anisotropes à faibles pertes. Journal of Equatorial Audio Science, 3(1), 12-29.